Aus der Kinderklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. J. R. Bierich

Lungenfunktionsdiagnostische Untersuchungen an ehemaligen Frühgeborenen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Kurt von Figura
aus Heiningen

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0050

Aus der Kinderklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. J. R. Bierich

Lungenfunktionsdiagnostische Untersuchungen an ehemaligen Frühgeborenen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Kurt von Figura
aus Heiningen

1969

Dekan: Professor Dr. med. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Privat-Dozent Dr. med. K. Riegel
(Professor Dr. med. J. Bierich)

2. Berichterstatter: Professor Dr. med. W. Kaufmann

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung	1
II.	Untersuchte Kinder	1
III.	Allgemeine Untersuchungsbedingungen	2
IV.	Methodik	4
V.	Berechnungen	7
VI.	Kritik der Methodik	10
VII.	Ergebnisse und Vergleich mit den Literaturangaben	14
VIII.	Diskussion der Ergebnisse	23
IX.	Beurteilung der Kinder mit atypischen Ergebnissen	31
X.	Vergleich der Röntgenbefunde mit den Lungenfunktionstesten	32
XI.	Ergebnis	33
	Liste der Abkürzungen	34
	Tabellen	38
	Abbildungen	48
	Voraussageformeln der Literatur	52
	Literaturverzeichnis	55

I. Einleitung

Bei einer Nachuntersuchung von ehemaligen Frühgeborenen wurden bei einem Drittel auf den Röntgenbildern des Thorax eine Verstärkung der Netzwerkstruktur in der mittleren und äußeren Schicht, eine Hilusbetonung und basomediane Streifenzeichnung festgestellt. Bei einem weiteren Drittel waren die Befunde fraglich, der Rest wies keine röntgenologischen Veränderungen auf. Da diese röntgenologischen Veränderungen als Zeichen einer vorzeitigen Beanspruchung einer funktionell unreifen Lunge gedeutet werden konnten, war es von Interesse durch lungenfunktionsdiagnostische Untersuchungen das Leistungsvermögen der Lunge dieser Kinder zu prüfen.

II. Untersuchte Kinder

Es wurden 3 Knaben und 14 Mädchen untersucht, die zum Zeitpunkt der Untersuchung 6-9 Jahre alt waren. Die 17 Kinder wurden von einer an dieser Untersuchung nicht beteiligten Person so ausgewählt, daß ihre Zusammensetzung, was den Röntgenbefund anbelangt, dem ganzen Kollektiv entsprach. Weitere Ge-

sichtspunkte wurden bei der Auswahl nicht berücksichtigt. Die wichtigsten Daten der Kinder sind in Tabelle 1 angegeben. Die Oberfläche wurde nach dem Nomogramm von SENDROY und COCCHINI (1954) bestimmt. Die körperliche Entwicklung lag bei 15 der Kinder innerhalb des 2SD-Bereiches der Somatogramme nach VOGT (1959). Ein Kind war übergewichtig in Hinblick auf Länge und Alter. Ein Kind war zu lang und zu schwer bezogen auf das Alter. Der Mittelwert der Intelligenzquotienten (Inauguraldissertation FEIL 1969), die nach dem Hamburg-Wechsler-Test bestimmt wurden, lag bei 94. Die Einzelwerte lagen zwischen 77 -116.

III. Allgemeine Untersuchungsbedingungen

Die Kinder wurden ambulant zur Untersuchung einbestellt. Sie waren nicht nüchtern. Kinder, die am Untersuchungstag einen Infekt der oberen Luftwege aufwiesen, wurden neu einbestellt. Die Untersuchungen wurden vormittags von 9 - 12^{00} durchgeführt; die Dauer betrug bei unkompliziertem Verlauf ca. 2 Stunden. Alle funktionsdiagnostischen Messungen wurden im Liegen vorgenommen.

IV. Methodik

A. Lungenvolumina

1. Apparatur: Zur Bestimmung der statischen und dynamischen Lungengrößen wurde der Pulmo-Analysor Godart verwandt (siehe Anmerkung). Der Spirometer arbeitet nach der geschlossenen Methode mit kontinuierlicher O_2 Zufuhr aus einer zweiten Spirometerglocke. Die Messung der Heliumkonzentration bei der Heliumeinwaschung zur Bestimmung der funktionellen Residualkapazität (FRC) erfolgt nach dem Wärmeleitfähigkeitsprinzip.

2. Beschreibung des Versuchsgang: Als erstes wurde vor jeder FRC-Bestimmung das Totraumvolumen des Systems bestimmt. Die Spirometerglocke wurde mit 4 lit Luft-Heliumgemisch gefüllt. Die Kinder lagen während der Untersuchung auf einem Untersuchungstisch. Sie wurden über den Ver-

Anmerkung:
Gerät der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen.
Fräulein Dr. J. Gerrads bin ich für die Arbeitsmöglichkeit und -anleitung sowie Überwachung im Lungenfunktionsdiagnostischen Laboratorium der Medizinischen Klinik zu Dank verpflichtet.
Fräulein B. Stajenovic bin ich für die Überwachung der Apparate zu Dank verpflichtet.

suchsgang unterrichtet, bevor sie nach einigen Minuten der Gewöhnung am Ende einer normalen Exspiration an den Spirometer angeschlossen wurden. Die Mischung war nach 3-6 Minuten beendet.

3. Vitalkapazität (VC): Die Kinder wurden aufgefordert maximal zu inspirieren. Nach Erreichen eines Plateaus am Kymographion wurden sie aufgefordert maximal zu exspirieren. Der Versuch wurde beendet, wenn sich wiederum ein Plateau am Spirogramm zeigte.
4. Maximaler Exspirationsstoß (FEV): Den Kindern wurde der Test zuvor demonstriert. Sie wurden aufgefordert maximal zu inspirieren und dann auf Kommando so rasch und so tief wie möglich zu exspirieren. Die Geschwindigkeit des Kymographion war dabei auf 1200 mm/sec eingestellt.

B. Ventilation und Diffusion

Die verschiedenen Ventilationsgrößen und der Diffusionsfaktor wurden nach den Anleitungen von BARTELS et al. (1959) gemessen und berechnet.

1. Apparaturen

Verwendet wurde die offene Spirometrie. Das Einatmungs-Gasgemisch (14% O_2, Rest N_2) atmeten die Kinder aus einem Plastik-Douglassack über ein respiratorisches Doppelventil zu einem volumengeeichten Sammelspirometer von 50 l Inhalt. Die respiratorischen Gase wurden mit dem Scholander-Mikrogasmeter zweifach analysiert. O_2 und CO_2-Partialdruck sowie der pH-Wert des Blutes wurden mit dem IL-Mikrogas-Analyzer 113 S1 (Instrumentation Lab., Boston) gemessen. Die Elektroden wurden mit Gasgemischen bekannter Zusammensetzung bzw. Standardpuffern geeicht. Die gemessenen Daten wurden hinsichtlich Heparin-Verdünnungseffekt und der Gas/Blut-Eichfaktoren korrigiert und auf die rektal gemessene Körpertemperatur mittels der Temperaturfaktoren von SEVERING-HAUS (1961) bzw. ROSENTHAL (1948) umgerechnet. Der O_2-Gehalt wurde polarographisch nach MAYERS und FORSTER (1966) bestimmt, die O_2-Kapazität nach Äquilibrieren mit Zimmerluft bei Raumtemperatur auf dem gleichen Wege (zur Kontrolle wurden gleichzeitig die Hb-Konzentration und der Hämatokrit ermittelt).

2. Versuchsgang

Die Kinder lagen während der Untersuchung. Ein Handgelenk wurde mit Novocain infiltriert. Nach Wirkungseintritt erfolgte die Punktion der A.radialis. Verwendet wurden 2 ml-Ganzglasspritzen, deren bekannter Totraum mit Heparinlösung ausgefüllt war. Nach der Blutentnahme wurden die Spritzen mit Quecksilber verschlossen und das Blut sofort analysiert. Anschließend wurden die Kinder an das Spirometersystem angeschlossen. Der Totraum des Empfängerspirometers wurde dreimal mit Exspirationsluft gespült. Nach 15 Minuten wurde die Exspirationsluft zwei Minuten lang gesammelt, währenddessen die Atemfrequenz gezählt und arterielles Blut durch erneute Punktion gewonnen wurde. Nach dieser Prozedur war der Kooperationswillen der meisten Kinder erschöpft. Nur bei 2 Kindern konnte derselbe Versuchsablauf in Hyperoxie wiederholt werde.

V. Berechnungen

A. Lungenvolumina

1. Funktionelle Residualkapazität (FRC): Das Totraumvolumen des Systems betrug zwischen 6 und 8 Litern. Die Werte der Heliumeinwaschkurve wurden graphisch aufgetragen und auf die Zeit t_0 extrapoliert. Dieser Wert wurde als der wahre Mischungswert angenommen.
2. Vitalkapazität (VC): Aus 3 Bestimmungen wurde der größte Wert gewählt.
3. Inspiratorische Kapazität (IC): Sie wurde aus dem Spirogramm der größten Vitalkapazität bestimmt.
4. Totale Lungenkapazität (TLC): FRC und IC wurden addiert.
5. Residualvolumen (RV): Es wurde aus der Differenz von TLC und VC ermittelt.
6. Es wurden die Quotienten FRC/TLC und RV/TLC bestimmt.

Das Spirogramm des maximalen Exspirationsstoßes wurde nach 3 Verfahren ausgewertet:

7. Einsekundenkapazität ($FEV_{1,0}$/VC): Dieser Wert gibt das Volumen an, das in der ersten Sekunde

exspiriert wird, in Prozenten der Vitalkapazität ausgedrückt.

8. $MMEF_{.2-1,2}$: Dieser Wert gibt in lit/min die mittlere maximale Exspirationsströmungsgeschwindigkeit an, die in dem Volumbereich des FEV von 0,2 bis 1,2 herrscht.

9. $MMEF_{50\%-75\%}$: Dieser Wert gibt in lit/min die mittlere maximale Exspirationsströmungsgeschwindigkeit in dem Volumbereich des FEV an, der 50%-75% der Vitalkapazität entspricht.
Die Nomenklatur entspricht den Vorschlägen von GANDEVIA und HUGH-JONES (1957). Alle statischen und dynamischen Lungenfunktionswerte wurden auf BTPS umgerechnet. (Körpertemperatur, Barometerdruck, Wasserdampf, gesättigt).

B. Ventilation und Diffusion

1. $\dot{V}_{O_2}$: Der Sauerstoffverbrauch pro Minute wurde aus dem Produkt des Exspirationsvolumen $\dot{V}_E$ und der Differenz der inspiratorischen und exspiratorischen Sauerstoffkonzentration ($F_{I_{O_2}}$-$F_{E_{O_2}}$) ermittelt.

2. Alveolarer O_2-Partialdruck und Totraum: Der alveolare O_2-Partialdruck wurde nach der Bohr-

Formel unter Berücksichtigung des arteriellen pCO_2 und des respiratorischen Quotienten berechnet, ebenso der „physiologische" Totraum, in der Annahme, daß bei keinem der Kinder ein arterioalveolarer CO_2-Gradient vorlag.

3. Herzminutenvolumen ($\dot{Q}_T$): Das Herzminutenvolumen ermittelten wir aus dem O_2-Verbrauch und einer angenommenen arteriovenösen O_2-Differenz von 4 Vol.%.

4. Anteil der venösen Beimischung zum arteriellen Blut ($\dot{Q}_{va}/\dot{Q}_T$): Dieser wurde bei Normoxie bestimmt aus den arteriellen und alveolaren Gasparametern, der O_2-Kapazität und einer individuellen O_2-Affinität (konstruiert aus den Blutgasparametern bei den unterschiedlichen inspiratorischen O_2-Konzentrationen).

5. O_2-Diffusionsfaktor: Die für dessen Bestimmung kritische Größe des mittleren pulmonalkapillären O_2-Druckes wurde nomographisch nach THEWS (1959) gefunden. Die venöse Beimischung wurde dabei dem echten Kurzschluß gleichgesetzt.

VI. Kritik der Methodik

A. Allgemein: Die Kinder kamen ambulant zur Untersuchung. Die z.T. weite Anreise und die Untersuchungen in zwei Kliniken müssen als erhebliche körperliche und psychische Belastung angesehen werden. Die Untersuchungsdauer von 2 Stunden bedeutete bei manchen Kindern die Grenze der Belastbarkeit. Die Ängstlichkeit der Kinder führte z.B. dazu, daß sie alle hyperventilierten. Die Größe der durch diese Faktoren verursachten Fehler läßt sich nur schwer abschätzen. Allein eine stationäre Aufnahme mit wiederholten Untersuchungen an verschiedenen Tagen hätte diese Fehlerquellen ausschalten lassen.

B. Besondere Gesichtspunkte für die Spirometrie: Von der Mitarbeit der Kinder direkt abhängig sind die VC mit den von ihr abhängigen Lungenvolumina sowie alle dynamischen Lungenfunktionsgrößen. Bei Kind Nr. 7 konnten die Lungenvolumina nicht bestimmt werden, da es zu ängstlich war, um mitarbeiten zu können. Bei den Kindern Nr. 8 und Nr. 10 konnten die dynamischen Lungenfunktionsgrößen aus den gleichen Gründen nicht bestimmt werden.

1. Funktionelle Residualkapazität (FRC): Die graphische Extrapolation soll Fehler ausschalten, die durch den kontinuierlichen Heliumverlust aus dem System, sowie durch die kontinuierliche Veränderung der Gaskonzentration im Spirometer, dadurch entstehen, daß der nachgefüllte Sauerstoff nicht ganz rein ist. Diese Extrapolation lässt sich aber nie exakt durchführen, da sich ein idealer geradliniger Abfall nach vollendetem Konzentrationsausgleich nicht einstellt. Eine weitere Fehlermöglichkeit besteht darin, daß nicht beurteilt werden kann, ob das Kind in seiner wahren Atemmittellage atmet, wenn es an das Spirometer angeschlossen wird. ENGSTRÖM et al. (1956) geben bei ähnlicher Versuchsanordnung als Variationskoeffizienten ($s_{x_i} \cdot 100/\bar{x}$) bei Einzelbestimmung für die FRC $\pm$ 5,66% an. Dieser Variationskoeffizient, wie auch die weiter unten angeführten, wurden aus einer Versuchsreihe mit stationär aufgenommenen Kindern berechnet. Bei unserer ambulanten Untersuchung sind die Variationskoeffizienten sicher höher zu veranschlagen.

2. Vitalkapazität (VC): Für die VC geben ENGSTRÖM et al. (1956) als Variationskoeffizienten bei Doppelbestimmung ± 1,39% an.

3. $FEV_{1,0}/VC$: $FEV_{1,0}$ hängt von der Körpergröße, obstruktiven und restriktiven Veränderungen ab. Durch die Angabe in Prozenten der VC wird die Abhängigkeit von Größe und restriktiven Veränderungen ausgeglichen, so daß $FEV_{1,0}/VC$ zu einem Maß für obstruktive Veränderungen wird. Die Aussagekraft wird dadurch eingeschränkt, daß die Anfangsphase des Exspirationsstoßes mitverwertet wird. DAYMANN (1961) zeigte, daß die maximale Exspirationsströmung besonders stark in der Anfangsphase und der Endphase des Spirogramms variiert, ohne daß pulmonale Veränderungen zugrunde liegen. Alle Bestimmungen, die das erste und das letzte Drittel des FEV-Spirogramms miterfassen, haben deshalb eine geringere Aussagekraft als solche, die das zweite Drittel erfassen. Variationskoeffizient nach ENGSTRÖM et al. (1956) bei Doppelbestimmung ± 3,37%.

4. $MMEF_{.2-1,2}$: Bei Kindern mit einem FEV unter 1,6 lit kommt man in den Bereich des FEV-Spirogramms,

der stark von der Mitarbeit des Kindes abhängt. So kann man fälschlich niedrige Werte erhalten, die obstruktive Veränderungen vortäuschen.

5. $MMEF_{50\%-75\%}$: Wenn man das Volumen 50%-75% aus der VC und nicht aus dem FEV errechnet, erhält man in den Fällen zu niedrige Werte, in denen das FEV kleiner als die VC ist.

C. Besondere Gesichtspunkte für Ventilation und Diffusion: Alle Ventilationsgrößen sind nur repräsentativ für Hypoxie, ein Vergleich mit Literaturangaben ist daher nicht möglich, da keine entsprechende Daten vorliegen. Hypoxie hat jedoch den Vorteil, daß die Atmung eher reflektorisch über die Chemorezeptoren gesteigert wird als emotionell durch Angst. Zudem wird damit eine für alle Kinder identische Ventilationsbelastung erzielt, womit eine Aussage über die respiratorische Reserve möglich wird.
Bei mehreren Größen (z.B. Herzminutenvolumen, Kurzschluß, Diffusionsfaktor) müssen Konstanten (z.B. arteriovenöse O_2-Differenz, Bohr'sche Integration) eingesetzt werden, die im Einzelfall nicht zutreffend sein müssen.

Technische Gründe erlaubten uns nicht, die alveolaren Gasspannungen zu messen, die Schlüsselgrößen für alle weiteren Ableitungen sind. Wir können daher bei unserem Vorgehen nicht ausschließen, daß die alveolo-arteriellen O_2-Gradienten, vor allem bei Hypoxie, unzureichend genau sind. So können deshalb z.B. die extrem niedrigen Diffusionsfaktoren bei einigen Kindern nur mit Vorbehalt als pathologisch angesehen werden, obwohl diese Kinder gewöhnlich auch bei Normoxie einen großen alveolo-arteriellen O_2-Gradienten aufwiesen. Der Diffusionsfaktor wird gering zu tief berechnet, weil wir anstelle des echten Kurzschlusses die venöse Beimischung einsetzen mußten.

VII. Ergebnisse und Vergleich mit den Literaturangaben

A. Lungenvolumina

Die Messergebnisse sind in Tabelle 2 angegeben. Die Mittelwerte unserer Messungen werden zusammen mit denen der Voraussageformeln verschiedener Autoren in Tabelle 3 aufgeführt. Dabei wurden für TLC, VC, FRC und RV die Mittelwerte aus den Einzelwerten,

die sich nach diesen Formeln für unsere Kinder ergaben, berechnet und aufgeführt.

1. Totale Lungenkapazität: In Abbildung 1 ist die TLC gegen die Körperoberfläche (BSA) aufgetragen. Sie beträgt im Mittel 2336 ml (min.max. 1710-3090 ml). Nach ENGSTRÖM et al. (1956) fällt Kind Nr. 8, nach ENGSTRÖM et al. (1962) fallen die Kinder Nr. 8 und Nr. 5 aus dem Signifikanzbereich heraus, bedingt durch die jeweils an der oberen Grenze liegenden IC- und FRC-Werte.
2. Vitalkapazität: Alle Werte (Mittelwert 1726 ml, min.max. 1065-2540 ml) liegen in den Signifikanzbereichen, die von De MUTH et al. (1965) und ENGSTRÖM et al. (1956 und 1962) angegeben wurden.
3. Funktionelle Residualkapazität: In Abbildung 1 ist die FRC gegen die Körperoberfläche (BSA) aufgetragen. Sie beträgt im Mittel 1063 ml (min.max. 685-1350 ml). Die Angaben über die Sollwerte schwanken bei den einzelnen Autoren sehr stark, wie die Abbildung 2 und die Tabelle 3 zeigen. Alle eigenen FRC-Werte liegen im

Signifikanzbereich von De MUTH et al. (1965). Aus dem Signifikanzbereich von ENGSTRÖM et al. (1962) fallen die Kinder Nr. 2,6,8 und 16 nach oben heraus.

4. Residualvolumen: In Abbildung 3 sind die eigenen und die Sollwerte der Literatur eingetragen (Mittelwert 640 ml, min.max. 265-1000 ml). In den Signifikanzbereich von ENGSTRÖM et al. (1962) fallen nur die Kinder Nr. 1,9,14,17. Alle übrigen Werte liegen darüber. BERNSTEIN (1959) gibt an, daß seine eigenen Werte bei 6-15-Jährigen so stark variierten (69-1625ml), daß er keine Sollwerte ermitteln konnte.
5. FRC/TLC: Die Werte liegen zwischen 33% - 52% um einen Mittelwert von 44,8%. ENGSTRÖM et al. (1962) gibt 49,9% als obere Signifikanzgrenze an. Die Kinder Nr. 1,2 und 6 liegen bei höheren Werten. BERNSTEIN (1959) gibt an, daß seine Werte zwischen 25% und 58% um einen Mittelwert von 40,8% liegen.
6. RV/TLC: Die Werte liegen zwischen 14% und 36% um 24,9% als Mittelwert. In den Signifikanzbereich von ENGSTRÖM et al. (1962) (siehe Tabelle 3) fallen nur 6 unserer Werte.

BERNSTEINs (1959) Werte schwanken zwischen 5% und 33%, davon liegen allein 42% aller Werte über 20%. Als höchster Mittelwert für Mädchen werden 25,7% von NEEDHAM et al. (1954) angegeben.

7. $\underline{FEV_{1,0}/VC}$: Die Ergebnisse von 13 Kindern konnten ausgewertet werden. Die Werte liegen zwischen 60%-91% um einen Mittelwert von 77,8%. ENGSTRÖM et al. (1962) gibt als untere Signifikanzgrenze 70,4% bei einem Mittelwert von 82% an. Die Kinder Nr. 1,4,16 und 17 liegen unter 70,%. Scheidet man diese aus, so ergibt sich bei uns ebenfalls ein Mittelwert von 82%.

8. $\underline{MMEF_{.2-1,2}}$: Bei 4 der 15 Kinder, deren FEV ausgewertet wurde, lag dieses Volumen so nahe bei 1200 ml, daß dieser Wert nicht ermittelt werden konnte. Bei den restlichen 11 Kindern liegen die Werte zwischen 50-200 lit/min. Sie liegen damit durchschnittlich 14% niedriger als die Werte von LYONS et al. (1960). Dieser fand als bestes Korrelat Alter und VC. 93,1% aller Messwerte bei Knaben und 92% bei Mädchen fielen bei ihm in den Bereich Sollwert-30%.

Die Kinder Nr. 1,4,12 und 16 haben niedrigere Werte. Im graphischen Schaubild korrelieren unsere Werte schlecht mit dem Alter, dafür gut mit der Oberfläche (siehe Abbildung 4) und der VC. Dabei fallen die Kinder Nr. 1 und 16 durch erniedrigte Werte auf.

9. $\underline{MMEF_{50\%-75\%}}$: Die Werte liegen zwischen 38-144 lit/min um einen Mittelwert von 79 lit/min. Sie liegen damit durchschnittlich 35% niedriger als die $MMEF_{.2-1,2}$-Werte, mit denen sie gut korrelieren (Abbildung 4). Im Diagramm ergibt sich eine gute Korrelation zur Oberfläche (Abbildung 4) und zur VC. Dabei fallen die Kinder Nr. 12 und 16 durch erniedrigte Werte heraus. Sollwerte gibt es in der Literatur nicht. De MUTHs et al. (1965) $MMEF_{50\%}$-Werte liegen höher.

B. Ventilation und Diffusion

Gemessene und berechnete Größen der Kinder sind in Tabelle 4 zusammengefaßt.

1. Ventilationsgrößen

a. O_2-Verbrauch und CO_2-Abgabe sind durch die

Hypoxie beeinflußt. Das Mittel beträgt 164 ml/m^2BSA (min.max. 118-196 ml/m^2BSA) für O_2 und für CO_2 148 ml/m^2BSA bzw. 108-177 ml/m^2BSA. Der Erwartungswert nach COMROE (1965) wäre für $\dot{V}_{O_2}$ rund 140 ml/m^2BSA. Der respiratorische Quotient variiert von 0,73-1,00 und beträgt im Durchschnitt 0,81.

b. Atemminutenvolumen ($\dot{V}_E$), Atemzugvolumen (V_T) und Atemfrequenz (f): Gemäß der Hypoxie ist $\dot{V}_E$ beträchtlich über die Erwachsenennorm von 2500 ml/m^2BSA nach COMROE (1965) gesteigert: Im Mittel fanden wir 4834 ml/m^2BSA bei Werten zwischen 3908-7770 ml/m^2BSA. Jedoch entsprechen die Daten weitgehend den Ergebnissen von TURNER und McLEAN (1951) an 5 - 14 jährigen Kindern (Normoxie: 5940 ml/m^2BSA $\pm$ 1640). Nach der Voraussageformel von BODA und MURANYI (1962) für Kinder ergibt sich für die von uns untersuchten Kinder ein Mittelwert von 2394 ml/m^2BSA.
V_T als anatomisch determinierte Größe ist mit durchschnittlich 258 ml/m^2BSA erwartungsgemäß etwas geringer als beim Erwachsenen (ca. 280 ml/m^2BSA).

$\dot{V}_E$ muß demnach über eine Frequenzsteigerung vergrößert sein. Gegenüber der altersnormalen Frequenz bei Normoxie von 16-20 beträgt f im Mittel 24/min.

c. Totraum V_D und alveolare Ventilation $\dot{V}_A$ sowie V_D/V_T: Eine erhöhte Frequenz vergrössert den Totraumeinfluß. Es ergab sich eine straffe Korrelation zwischen f und dem Anteil des Totraums am Atemzugvolumen (V_D/V_T). Anhand dieser Regression errechnet sich für die normale Frequenz ein V_D/V_T von rund 0,35, das altersnormal ist (BODA und MURANYI, 1962). 5 Kinder weichen in ihren Ergebnissen von dieser Regression ab (1,7,8,14,15). Trotz niedriger Frequenz findet sich ein recht hohes V_D/V_T-Verhältnis von 0,41-0,47, was für einen primär vergrößerten Totraum sprechen kann. $\dot{V}_A$ ist verglichen mit den Ruhe-Normoxiewerten bei Kindern, für die BODA und MURANYI (1962) Voraussageformeln angaben, erhöht durch den Hypoxieeinfluß. Unser Mittelwert beträgt 2394 ml/m^2BSA (min.max. 1866-2943 ml/m^2BSA).

Nach BODA und MURANYI (1962) ergibt sich ein Mittelwert von 1481 ml/m^2BSA. Die Zunahme durch Hypoxie um ca. 60% entspricht den Angaben von COMROE (1965) bei Erwachsenen unter vergleichbaren Bedingungen.

2. Herzminutenvolumen (HMV, $\dot{Q}_T$) und das Ventilations-Perfusionsverhältnis ($\dot{V}_A/\dot{Q}$)

$\dot{Q}_T$ beträgt im Mittel 4093 ml/m^2BSA (min.max. 3430-5321 ml/m^2BSA). Der kardiale Index ist damit gegenüber der Erwachsenennorm (3100 ml/m^2BSA) entsprechend des Hypoxieeinflusses etwas erhöht (vgl. Kritik der Methoden).

Für $\dot{V}_A/\dot{Q}$ errechneten wir einen Mittelwert von 0,91. Dieser Wert liegt nahe beim Mittelwert des gesunden Erwachsenen mit 0,8-0,9 nach RAHN und FARHI (1964).

3. O_2-Diffusionsfaktor ($D_{L_{O_2}}/m^2$BSA)

D_L beträgt im Mittel 16,6 (min.max. 6,3-24,8) ml/torr.min.m^2BSA und entspricht damit - etwas erniedrigt - dem Erwartungswert des gesunden Erwachsenen mit 15-24 nach COMROE (1965). Nach den Voraussageformeln von GIAMONA und DALY (1965)

ergeben sich 17,0, nach PECORA et al. (1966) 14,7 bzw. nach BUCCI et al. (1961) 15,8 ml/torr.min.m^2BSA als Mittelwert für unsere Kinder. In Abbildung 5 sind die Einzelwerte im Vergleich zu den Sollwerten der Literatur aufgetragen.

Die Ergebnisse von 3 Kindern (Nr. 3, 7, 8) weichen signifikant von unserem Mittelwert ab und betragen weniger als 10 ml/torr.min.m^2BSA. Läßt man diese Werte außer Betracht (vgl. Kritik der Methoden), errechnet sich ein Mittelwert von 18,2 ml/torr.min.m^2BSA.

4. Arterielle Blutgasparameter und der alveoloarterielle O_2-Gradient (AaD_{O2}) bei Normoxie

Der O_2-Partialdruck (pO_{2a}) (durchschnittlich 96,5 torr, min.max. 82,8-106,0 torr) entspricht dem Erwartungswert des gesunden Erwachsenen. Der CO_2-Druck (pCO_2), durchschnittlich 34,4 torr (min.max. 39,5-27,4 torr) und der pH-Wert, durchschnittlich 7,44 (min.max. 7,39-7,52) spiegeln den Einfluß einer alveolaren Hyperventilation wieder. Die O_2-Sättigung

(S_{O_2}) ist mit durchschnittlich 95,9% niedrig aufgrund einer gegenüber dem Erwachsenen erniedrigten O_2-Affinität (RIEGEL, nicht publiziert).

Die O_2-Kapazität, durchschnittlich 15,8 Vol% (min.max. 14,5-18,3 Vol%), und damit auch der O_2-Gehalt, durchschnittlich 15,1 Vol% (min. max. 13,8-17,2 Vol%), sind verglichen mit gesunden Erwachsenen erniedrigt. Die mittlere O_2-Kapazität entspricht 11,0 g% Hämoglobin; dies kommt einer Hb-Konzentration von etwa 13,0 g% im Kapillarblut gleich.

Die AaD_{O_2} betrug durchschnittlich 7,5 torr (min.max. 0,9-18,5 torr). Bei 8 Kindern betrug die AaD_{O_2} mehr als 10 torr.

VIII. Diskussion der Ergebnisse

A. Spirometrie

1. Lungenvolumina: Im Gegensatz zu den Untersuchern, mit denen unsere Ergebnisse verglichen werden konnten, wurden unsere Messungen im Liegen vorgenommen. Zahlreiche Untersuchungen

an Erwachsenen, vor allem von BLAIR (1959), konnten den Einfluß der Körperlage auf die Lungenvolumina zeigen. Gegenüber sitzender Position nehmen VC, TLC, FRC, ERV ab, während IC und RV/TLC zunehmen. Die Angaben über die Veränderung des RV variieren, teils werden erhöhte, teils werden erniedrigte Werte gegenüber den Normwerten in sitzender Stellung angegeben. Als Ursachen für die Abhängigkeit der Lungenvolumina von der Körperlage werden die Änderung der Zwerchfellstellung und des Lungenblutvolumens genannt. Als besonders charakteristisch für obstruktive Veränderungen bei den statischen Lungenvolumina gelten eine Erhöhung der FRC und des RV. Dabei ist die Erhöhung der FRC als ein Anpassungsvorgang aufzufassen, da dadurch die Retraktionskraft der Lunge erhöht und so die Exspiration erleichtert wird. Insgesamt haben die statischen Lungengrößen eine geringere Aussagekraft für obstruktive Veränderungen, insbesondere sind sie wenig

geeignet, Kinder mit obstruktiven Lungenveränderungen aus einem Kollektiv von Gesunden herauszufinden, da die Signifikanzbereiche zu groß sind. Ihre Bestimmung ist eher wertvoll für eine Verlaufskontrolle bei erkrankten Kindern nach Diagnosestellung (ENGSTRÖM et al. 1962). Auch die Quotienten FRC/TLC und RV/TLC sind untaugliche Hilfsmittel, um Abweichungen von der Norm bei Kindern herauszufinden (siehe die große Streuung bei BERNSTEIN et al. 1959).

Bei unseren Messungen fallen besonders die erhöhten RV-Werte auf. Da die FRC- und VC-Werte mit den Literaturangaben gut übereinstimmen, liegt es an einer Verminderung des ERV. Als Ursache kommt der Einfluß der Lage in Frage: da die VC sinkt (bei uns nicht nachzuweisen) und die IC steigt, sinkt das ERV im Liegen. Sinkt nun die FRC nicht im gleichen Verhältnis, so steigt das RV an, wie auch von der Mehrzahl der Untersucher angegeben wird, ohne daß diese Zunahme dann

auf obstruktive Veränderungen schliessen läßt.

2. Dynamische Lungenfunktionsgrößen: Zahlreiche Untersuchungen bei Erwachsenen haben ihre Aussagekraft bei obstruktiven Veränderungen gezeigt. Bei Kindern konnten ENGSTRÖM et al. (1959) und ENGSTRÖM et al. (1962) den Wert dieser Teste bei Kindern mit Asthma bronchiale zeigen. Da beim normalen Kind der Atemwiderstand bei der Exspiration steigt und in der Inspiration sinkt, sind exspiratorische Tests besonders geeignet, obstruktive Veränderungen aufzudecken. Bei maximaler Anstrengung geht die Verminderung der maximalen Exspirationsströmung parallel zur Erhöhung des Atemwiderstandes. Der erhöhte Widerstand kann auf vermindertem elastischem Lungendruck, erhöhter bronchialer Compliance, Verengerung der Atemwege und Verminderung der Zahl der Atemwege beruhen. Unsere gegenüber den Literaturangaben durchschnittlich 5-15% niedrigeren Werte lassen den Schluß zu, daß die untersuchten Kinder als Kollektiv keinen erhöhten Atemwiderstand aufweisen.

B. Ventilation und Diffusion

Die Effektivität der cardiorespiratorischen Funktionen manifestiert sich in den arteriellen Blutgaswerten und in dem Gasdruckgefälle zwischen Alveole und Blut. Bei Ausschluß von cardialen Defekten mit rechts-links Shunt sind diese Größen ausschließlich von der Atmungsfunktion der Lunge und des Blutes bestimmt. Für das Gesamtkollektiv der Kinder, d.h. für die Mehrzahl der Untersuchten, ergaben sich normale AaD_{O_2}-Werte, für einige jedoch von der Erwachsenennorm abweichende Ergebnisse (AaD_{O_2} nach BARTELS und RODEWALD, 1953, kleiner als 10 torr; nach MELLEMGAARD, 1966, bei 15-20jährigen $5 \pm 5{,}5$ torr). Allerdings fragt sich, ob ein Vergleich mit dem Erwachsenen zulässig ist. Einen lückenlosen Verlauf von Normalwerten im Kindesalter besitzen wir nicht. Beim Säugling ist eine AaD_{O_2} von 30 torr als physiologisch anzusehen (ULRICH 1969). ROBINSON (1939) gab als Mittelwert für 8-12jährige 15,4 torr an. Es ist deshalb möglich, daß eine AaD_{O_2} größer als 10 torr noch bei Schulkindern absolut physiologisch ist.

Bei unseren Kindern ist bemerkenswert, daß die AaD_{O_2} umso größer ist, je mehr die somatische Entwicklung verzögert verlief (siehe Abbildung 6). Eine vergrößerte AaD_{O_2} kann 3 Ursachen haben: 1. einen anatomischen Kurzschluß, 2. ein Diffusionshindernis und 3. eine inhomogene Verteilung von Ventilation und Perfusion, wobei zu beachten ist, daß sowohl ein echter Kurzschluß als auch ein erhöhter Diffusionswiderstand als Verteilungsungleichheit im weitesten Sinne aufgefaßt werden können. In ihrer Summe determinieren sie die Höhe der venösen Beimischung zum arteriellen Blut ($\dot{Q}_{va}$). $\dot{Q}_{va}$ ist mit durchschnittlich 3,6% des HMV normal gefunden worden. Beim Gesunden wird $\dot{Q}_{va}$ fast ausschließlich vom echten Kurzschluß ($\dot{Q}_{sh}$) bestimmt, der über die Vv.Thebesii usw. läuft und als physiologisch bezeichnet wird. Es ist anzunehmen, daß dies auch für die von uns untersuchten Kinder zutrifft. Bei 4 Kindern ermittelten wir $\dot{Q}_{va}$ größer als 5% des HMV, und bei diesen Kindern ergaben sich auch gröbere Abweichungen von der Norm in D_L und/oder $\dot{V}_A/\dot{Q}$.

Nach Abbildung 7 sollte man annehmen, daß eine lineare Beziehung zwischen D_L und der AaD_{O2} besteht. Es steht jedoch außer Frage, daß D_L unter 60% der Norm fallen muß, um einen Einfluß auf die AaD_{O2} bei Normoxie auszuüben (RAHN und FARHI, 1964). Tatsächlich wiesen 3 Kinder (Nr.3,7,8), verglichen mit dem Mittelwert von 16,6 ml/torr. min, so niedrige Werte auf, daß einem erhöhten Diffusionswiderstand bei diesen Kindern ein definierter, wenn auch bei Luftatmung geringer Einfluß zuzuschreiben ist.

Im allgemeinen wird ein erniedrigter Diffusionsfaktor auf ein Diffusionshindernis der Lunge bezogen. Dabei wird übersehen, daß die Erythrocyten den weitaus größten Diffusionswiderstand liefern (RIEGEL et al. 1961). Korreliert man D_L mit der O_2-Kapazität, dann ergibt sich, daß ein niedriger D_L auch mit einer niedrigen O_2-Kapazität einhergeht ($y = 1,9 \cdot O_2$-Kapazität - 13,5). Der Schluß liegt darum nahe, daß bei den Kindern keine Strukturanomalie der Lunge vorliegt. Eine Anämie bzw. eine niedrige O_2-Kapazität vergrößert im übrigen

die AaD_{O_2} auch noch über einen $\dot{Q}_{sh}$. Derselbe $\dot{Q}_{sh}$ von z.B. 10% bewirkt bei 20 Vol% O_2-Kapazität eine AaD_{O_2} von 14 torr, bei 14 Vol% aber von 18,5 torr.

Der Nachweis einer inhomogenen Verteilung von $\dot{V}_A/\dot{Q}$ ist mit einfachen Mitteln nicht möglich. Verteilungsstörungen werden gewöhnlich per exclusionem ermittelt, indem man den Einfluß von $\dot{Q}_{sh}$ und D_L auf die AaD_{O_2} eliminiert (COMROE, 1965). Der Mittelwert von $\dot{V}_A/\dot{Q}$ liefert allenfalls einen groben Hinweis, denn er sagt nichts aus über eine mögliche Inhomogenität von Alveole zu Alveole. Setzt man diese Einwände in Rechnung, dann kann man mit Vorbehalt bei 3 Kindern (Nr. 6,11,15) vermuten, daß eine inhomogene Verteilung die AaD_{O_2} beeinflußt. Bei den Kindern 6 und 11 ist jedoch nicht erwiesen, ob die vergrösserte AaD_{O_2} nicht auf einer verzögerten somatischen Entwicklung beruht.

IX. Beurteilung der Kinder mit atypischen Funktionstesten

Nr. 1: Bei diesem Kind sind folgende Größen von der Norm abweichend: FRC/TLC, $FEV_{1,0}/VC$, $MMEF_{.2-1,2}$, V_D/V_T, $\dot{Q}_{va}/Q_T$, $\dot{V}_A/\dot{Q}$. Diese Werte sprechen für einen möglichen obstruktiven Prozeß bei einem Ventilations-Perfusionsmißverhältnis.

Nr. 6: Hier weichen FRC/TLC, AaD_{O2}, $\dot{Q}_{va}/Q_T$ und $\dot{V}_A/\dot{Q}$ von der Norm ab. Ein Ventilations-Perfusionsmißverhältnis ist möglich.

Nr. 7: V_D/V_T und $\dot{Q}_{va}/\dot{Q}_T$ sind verändert, ein Ventilations-Perfusionsmißverhältnis ist möglich.

Nr. 12: $MMEF_{.2-1,2}$, $MMEF_{50\%-75\%}$ und $\dot{V}_A/\dot{Q}$ weichen von der Norm ab, wahrscheinlich bedingt durch den vorliegenden Ventrikelseptumdefekt. Die Herzkatheteruntersuchung ergab einen Ventrikelseptumdefekt mit mäßig großem Shunt, der nach Angaben der untersuchenden Kardiologen (Priv.Doz.Apitz) als Erklärung für die Erhöhung des Drucks im kleinen Kreislauf (Druck im rechten Ventrikel 0/40 mm Hg) nicht ausreicht. So sind pulmonale Veränderungen anzunehmen, die zu einer Obstruktion der Atemwe-

ge und der Lungengefässe geführt haben.

Nr. 15: V_D/V_T und $\dot{V}_A/\dot{Q}$ sind verändert; ein Ventilations-Perfusionsmißverhältnis ist möglich.

Nr. 16: $FEV_{1,0}/VC$, $MMEF_{.2-1,2}$ und $MMEF_{50\%-75\%}$ weichen von der Norm ab. Diese Abweichungen sprechen für obstruktive Veränderungen. Ein Einfluß der Aortenisthmusstenose ist unwahrscheinlich, da die Herzkatheteruntersuchung eine vollkompensierte Aortenisthmusstenose ohne Druckerhöhung im kleinen Kreislauf ergab.

Nr. 3, 8, 9: Der Diffusionsfaktor der Lunge ist beträchtlich erniedrigt, wahrscheinlich infolge einer verminderten Hämoglobinkonzentration. Nr. 8 und 9 haben zusätzlich veränderte $\dot{V}_A/\dot{Q}$-Werte.

X. Vergleich der Röntgenbefunde mit den Lungenfunktionstesten

1. Gruppe mit deutlichen röntgenologischen Veränderungen:

   Eine Übereinstimmung von röntgenologischen und funktionellen Abweichungen ergab sich

bei den Kindern Nr. 1 und 12. Hingegen wiesen die Kinder Nr. 10, 14 und 17 altersnormale Funktionsteste auf.

2. Gruppe mit fraglichen röntgenologischen Veränderungen:
   Hier ergibt sich eine Übereinstimmung mit veränderten Funktionstesten bei den Kindern Nr. 8,9 und 15, während die Kinder Nr. 2, 4 und 5 altersnormale Funktionsteste haben.
3. Gruppe mit normalem röntgenologischem Befund:
   Die Kinder Nr. 6, 7 und 16 haben veränderte Funktionsteste. Bei Kind Nr. 3 ist der Diffusionsfaktor der Lunge wahrscheinlich wegen des verminderten Hämoglobingehalts erniedrigt. Bei dem Kind Nr. 13 sind alle Untersuchungen normal.

XI. Ergebnis

Die von uns durchgeführten Lungenfunktionsteste sind nicht geeignet, um Aufschlüsse über die Röntgenbefunde zu geben.

Da über den Gesundheitszustand der Kinder von den

Eltern keine Klagen geführt wurden und die klinische Untersuchung keinen pathologischen Befund ergab, sind die von der Norm abweichenden Werte bei den Funktionstesten bedeutungslos. Die Anämie der 3 Kinder Nr. 3, 8 und 9 ist zu behandeln.

Liste der Abkürzungen, die im Text, in den Abbildungen und den Tabellen verwandt werden.

Spirometrie

TLC	Totale Lungenkapazität
VC	Vitalkapazität
FRC	Funktionelle Residualkapazität
RV	Residualvolumen
IC	Inspiratorische Kapazität
ERV	Exspiratorisches Reservevolumen
FEV	Volumen, das beim maximalen Exspirationsstoß ausgeatmet wird.
$FEV_{1,0}/VC$	Volumen, das in der ersten Sekunde beim maximalen Exspirationsstoß ausgeatmet wird, angegeben in % der Vitalkapazität
$MMEF_{.2-1,2}$	Mittlere maximale Exspirationsströmung im Bereich von 0,2-1,2 lit des FEV
$MMEF_{50\%-75\%}$	Mittlere maximale Exspirationsströmung im Bereich von 50%-75% der Vitalkapazität

f	Frequenz/min
BSA	Körperoberfläche in m^2
L	Länge in cm
G	Gewicht in kg
A	Alter in Jahren

Gaswechsel

$\dot{V}_E$	exspiratorisches Atemminutenvolumen
F_{EO_2}	exspiratorische O_2-Konzentration
F_{ECO_2}	exspiratorische CO_2-Konzentration
$\dot{V}_{O_2}$	O_2-Aufnahme/min
$\dot{V}_{CO_2}$	CO_2-Abgabe/min
$\dot{V}_A$	alveolare Ventilation/min
$\dot{V}_D$	Totraumventilation/min
V_T	Atemzugvolumen
V_D/V_T	Totraum-/Atemzugvolumen
f	Frequenz
R	respiratorischer Quotient
pO_{2a}	arterieller O_2-Partialdruck (alle Drucke bei Körpertemperatur)
pCO_{2a}	arterieller CO_2-Partialdruck
C_{O_2sat}	maximale O_2-Bindungsfähigkeit des Blutes
$C_{O_2a\ comb}$	O_2-Gehalt des arteriellen Blutes
S_{O_2a}	O_2-Sättigung des arteriellen Blutes

$pO_{2\ A}$	alveolarer O_2-Partialdruck
AaD_{O_2}	alveolo-arterieller Druckgradient
$\dot{Q}_{VA}/\dot{Q}_T$	Verhältnis der venösen Beimischung zum Herzminutenvolumen
"$\dot{Q}_T$"	Herzminutenvolumen
$pO_{2\ c'}$	O_2-Partialdruck am Ende der Lungenkapillaren
$pO_{2\ \bar{v}}$	O_2-Partialdruck im gemischt-venösen Blut
$pO_{2\ A}$-$pO_{2\ \bar{c}}$	Bohrsches (BOHR) Integral
D_{LO_2}/m^2	O_2-Diffusionsfaktor der Lunge/m^2 Körperoberfläche (mlO_2/min·torr)
$\dot{V}_A/\dot{Q}$	Ventilations-Perfusionsverhältnis

Tabelle 1: Physikalische Daten und Vorerkrankungen der Untersuchten

Bei Körpergewicht und Körpergröße sind jeweils die Sollwerte nach VOGT (1959) angegeben

Kind Nr.	Geb.Tag	Alter (J)	Geb.Gew. (g)	Gew. (kg)	Länge (cm)	Kö.Ofl. (m^2)	Rö.Bef.	Kö.Temp. (^oC)	Vorkrankheiten (Alter)	Verhalten
1	13.6.60	$6^9/12$	2280	26,8 (25,4)	127 (119)	0,96	+	37,6	Colimeningitis(1)	ruhig
2	28.5.60	$6^9/12$	2200	20,5 (19,8)	114 (119)	0,78	(+)	37,2	Masern(2) Mumps(3) Keuchhusten(3)	gehemmt, ängstlich
3	15.1.60	$7^5/12$	2230	20,5 (21,0)	117 (123)	0,84	-	37,8	Masern(3) Mandelop.(5)	ruhig
4	25.12.59	$7^3/12$	2210	21,5 (22,2)	120 (122)	0,86	(+)	37,6	Masern(5) Keuchhusten(6)	ruhig
5	25.9.59	$7^8/12$	2060	30,8 (23,1)	122 (124)	1,02	(+)	37,2	Masern(3) Keuchhusten(4) Scharlach(5)	ruhig
6	27.7.59	8	2060	19,0 (21,0)	117 (126)	0,81	-	37,0	Masern(3) Mumps(5) Keuchhusten(5) Appendektomie(5)	ruhig
7	14.5.59	$7^{11}/12$	1900	21,6 (20,2)	120 (125)	0,86	-	37,4		ängstlich
8	11.2.59	$8^2/12$	2130	23,9	115	0,87	(+)	37,4	Masern(3)	

									Mumps(5)	
10	30.6.58	$8^{11}/12$	1500	23,7 (25,4)	127 (130)	0,95	-	37,2	Keuchhusten(5)	unruhig
11	22.5.58	9	2040	20,3 (24,0)	124 (131)	0,87	-	37,3	Masern(1) Mumps(6) Keuchhusten(6)	ruhig
12	17.5.58	9	1950	26,2 (28,3)	133 (131)	1,01	++	37,5	Keuchhusten(2) Otitis media(3) Masern(8) Ventrikelseptumdefekt	ruhig
13	22.1.58	$9^{3}/12$	1050	25,6 (28,3)	133 (132)	1,0	-	37,4	Mumps(5) Keuchhusten(6)	ruhig
14	2o.8.57	$9^{6}/12$	1780	37,4 (38,0)	149 (138)	1,23	+	37,0	Mumps(3) Scharlach(3) Masern(6) Keuchhusten(6)	ruhig
15	9.8.57	$9^{9}/12$	2200	26,3 (28,8)	134 (134)	1,01	(+)	37,2	Mandelop.(6) 4xLungenentzündung	ruhig
16	29.7.57	$9^{9}/12$	1440	25,0 (28,8)	134 (134)	1,0	-	37,0	Mumps(4) Keuchhusten Aortenisthmusstenose	ruhig
17	23.7.57	$9^{11}/12$	1780	31,8 (32,3)	140 (135)	1,12	+	37,8	Masern(4) Keuchhusten(5)	ruhig

Tabelle 2: Spirometrische Meßergebnisse

Kind	TLC	VC	FRC	RV	IC	ERV	FRC/TLC	RV/TLC	$MMEF_{.2-1,2}$	$MMEF_{50\%-75\%}$	$FEV_{1,0}/VC$
1	2065	1580	960	485	1105	475	0,464	0,141	58	53	60,0
2	1710	1065	945	645	850	300	0,526	0,360		42	
3	2000	1440	900	560	1140	300	0,441	0,274		83	83,6
4	1845	1580	685	265	1160	420	0,371	0,144	50	43	68,5
5	2510	1750	1080	760	1430	320	0,430	0,302	144	115	91,3
6	2140	1440	1080	700	1060	380	0,504	0,327		72	84,6
7											
8	2215	1555	1180	660	1235	520	0,488	0,273			
9	2210	1670	950	540	1260	410	0,430	0,244	109	85	85,7
10	2045	1380	965	665	1080	300	0,472	0,325			
11	2365	1710	980	655	1385	325	0,414	0,276	107	74	81,7
12	2380	1680	1020	700	1260	320	0,447	0,307	80	55	76,4
13	2670	1850	1240	770	1380	470	0,473	0,294	107	79	71,5
14	3020	2540	1000	480	2020	520	0,331	0,158	200	138	89,3
15	2750	2050	1200	700	1550	500	0,436	0,258	162	88	80,0
16	2915	1915	1480	1000	1435	480	0,507	0,343	82	38	69,7
17	3090	2420	1350	670	1740	680	0,436	0,216	161	144	70,0

Tabelle 3: Vergleich der eigenen Mittelwerte mit denen der Literatur

	Mittelwert der eigenen Werte	Mittelwerte für die untersuchten Kinder nach den Voraussageformeln der verschiedenen Autoren (^{x}=2SD-Bereich) berechnet (für TLC, VC, FRC, RV)					
		ENGSTRÖM (1962)	ENGSTRÖM (1956)	BERNSTEIN (1959)	DeMUTH (1965)	HELLIESEN (1958)	LYONS (1960)
TLC	2366	2297	2332	2126			
VC	1726	1794	1852	1890	1684		
FRC	1063	725	977	857	1076	1144_{G} 1136_{L}	
RV	640	433	502			429	
FRC/TLC	44,8	$40,5\pm7,2^{x}$	$42,9\pm7,2^{x}$	40,8		$52,2\pm10^{x}$	
RV/TLC	24,9	$19,8\pm6,2^{x}$	21,7	19,0			
$FEV_{1,0}/VC$	77,8	$82\pm11,6^{x}$	85,9	$86\pm20,4^{x}$			
$MMEF_{.2-1,2}$	121						$142-30\%^{x}$

Tabelle 4: Messdaten zum Gaswechsel

Lfd.Nr.	insp.O_2-Konz.	$\dot{V}_E$ (ml STPD)	F_{EO_2}	F_{ECO_2}	$\dot{V}_{O_2}$ (ml STPD)	$\dot{V}_{CO_2}$ (ml STPD)	$\dot{V}_A$ (ml BTPS)	$\dot{V}_D$ (ml BTPS)	V_T (ml BTPS)	V_D/V_T	f	R
1	.21 .14	3905	.1016	.0328	154	128	2860	1970	254	.41	19	.83
2	.21 .14	3390	.1024	.0318	130	108	2815	1485	165	.35	26	.83
3	.21 .14	4463	.1109	.0242	134	108	3273	2307	180	.41	31	.81
4	.21 .14	5510	.1126	.0243	154	134	3800	3200	184	.46	38	.87
5	.21 .14	4345	.1057	.0311	152	135	3790	1695	238	.31	23	.89
6	.21 .14	3870	.1076	.0298	127	115	3310	1708	172	.35	28	.91
7	.21 .14	4160	.1118	.0265	118	110	3030	2190	290	.42	18	.93
8	.21 .14	6760	.1132	.0231	185	156	4730	3800	474	.45	18	.84

	.14	5350	.1117	.0284	152	152	4010	2697	240	.40	28	1.00
10	.21											
	.14	3932	.1007	.0333	158	131	3250	1740	262	.35	19	.83
11	.21											
	.14	3454	.1024	.0330	132	114	2670	1653	188	.38	23	.86
12	.21											
	.14	3948	.0999	.0329	163	130	3360	1590	206	.32	24	.80
13	.21											
	.14	3975	.0998	.0338	164	134	3570	1440	250	.29	20	.82
14	.21											
	.14	5530	.1062	.0291	191	161	4020	3120	325	.44	22	.85
	.72											
15	.21											
	.14	5830	.1113	.0244	195	142	3990	3360	273	.47	26	.73
16	.21											
	.14	3918	.1028	.0345	148	135	3225	1775	250	.35	20	.91
17	.21											
	.14	5358	.1041	.0330	196	177	4205	2535	241	.38	28	.90

Fortsetzung von Tabelle 4

Lfd.Nr.	insp.O_2-Konz.	pO_{2a} (Torr)	pCO_{2a} (Torr)	pH_a	CO_{2sat} (Vol%)	CO_{2acomb} (Vol%)	SO_{2a} (%)	pO_{2A} (Torr)	$AaDO_2$ (Torr)	$\dot{V}_{va}/\dot{Q}_T$	$\dot{V}_T$ (ml)
1	.21	95.7	39.4	7.43	17.2	16.3	94.6	99.7	4.0	.05	3850
	.14	51.5	38.5	7.45	16.1	13.8	85.3	52.7	1.2		
2	.21	93.5	37.2	7.43	15.8	15.2	96.2	98.2	4.7	.025	3250
	.14	51.2	33.1	7.45	16.0	13.9	86.8	54.7	3.5		
3	.21	92.3	27.4	7.49	15.3	14.9	97.6	110.8	18.5	.036	3340
	.14	49.9	28.5	7.52	15.2	12.9	84.9	59.8	9.9		
4	.21	102.5	32.0	7.43	16.0	15.7	98.2	106.6	4.1	.01	3850
	.14	56.4	30.5	7.44	16.1	13.9	85.3	60.9	4.5		
5	.21	106.0	31.9	7.47	16.0	15.4	96.0	108.0	2.0	.012	3800
	.14	59.7	30.8	7.48	16.0	14.3	89.5	61.7	2.0		
6	.21	94.1	35.5	7.43	18.3	17.2	94.2	106.7	12.6	.083	3170
	.14	60.5	30.0	7.49	17.0	15.1	88.5	64.6	3.9		
7	.21	90.1	34.1	7.48	14.8	14.0	94.4	107.6	17.5	.087	

	.14	45.0	31.5	7.52	15.0	11.9	79.3	59.9	14.9		4630
9	.21	97.1	33.5	7.41	16.0	15.3	95.1	110.3	13.2	.057	
	.14	55.8	32.7	7.45	15.6	13.6	86.8	63.6	7.8		3800
10	.21	98.7	35.9	7.43	15.2	14.3	94.5	100.5	1.8	.01	
	.14	53.0	34.5	7.44	15.5	13.3	86.1	54.8	1.8		3940
11	.21	92.5	36.8	7.44	14.8	14.5	98.0	102.6	10.1	.015	
	.14	51.2	36.9	7.44	14.6	12.8	87.9	54.3	3.1		3300
12	.21	102.3	28.2	7.49	15.3	14.8	96.9	109.6	7.3	.029	
	.14	46.4	33.4	7.44	16.2	14.0	86.1	55.5	9.1		4070
13	.21	98.7	36.6	7.42	16.1	15.5	96.5	100.4	1.7	.01	
	.14	54.2	32.5	7.48	15.9	13.4	84.5	57.5	3.3		4100
14	.21	95.4	39.5	7.39				96.3	0.9		
	.14	51.7	34.6	7.44	16.0	13.8	83.4	55.1	3.4		4780
	.72	430.0	35.0	7.44	18.0			450.0	20.0	.15	
15	.21	82.8	37.9	7.43	16.3	15.6	95.7	94.2	11.4	.045	
	.14	49.3	30.8	7.48	16.8	14.0	83.4	55.3	6.0		4880
16	.21	95.4	37.5	7.46	14.5	13.9	96.0	101.0	4.6	.031	
	.14	51.9	36.2	7.47	14.2	12.0	84.8	55.4	3.5		3690
17	.21	105.1	33.0	7.45	16.1	15.3	95.0	107.6	2.5	.022	
	.14	56.0	35.3	7.43	15.5	13.6	87.8	57.9	1.9		4890

Fortsetzung von Tabelle 4

Lfd.Nr.	insp.O_2-Konz.	$p_{O_{2c'}}$ (Torr)	$p_{O_{2\bar{v}}}$ (Torr)	$p_{O_{2A}}-p_{O_{2\bar{c}}}$ (Torr)	$D_{L_{O_2}}$	$\dot{V}_A/\dot{Q}$	Lfd.Nr.	insp.O_2-Konz.	$p_{O_{2c'}}$ (Torr)	$p_{O_{2\bar{v}}}$ (Torr)	$p_{O_{2A}}-p_{O_{2\bar{c}}}$ (Torr)	$D_{L_{O_2}}$	$\dot{V}_A/\dot{Q}$
1	.14	52.0	32.1	6.8	22.6	0.74	10	.14	54.0	32.3	7.5	21.0	0.82
2	.14	53.7	32.7	7.6	17.1	0.87	11	.14	52.0	33.0	9.1	14.5	0.81
3	.14	52.0	30.9	16.5	8.1	1.03	12	.14	52.8	31.9	9.7	16.8	0.82
4	.14	57.0	32.7	12.6	12.2	0.99	13	.14	56.5	31.0	8.7	18.8	0.87
5	.14	60.1	33.5	9.7	15.7	1.00	14	.14	53.0	32.4	9.0	21.2	0.84
6	.14	64.1	33.0	6.3	20.1	1.04	15	.14	51.0	30.9	12.0	16.2	0.82
7	.14	52.2	26.3	22.0	5.4	1.03	16	.14	53.7	29.8	9.2	16.1	0.87
8	.14	45.7	26.1	23.5	7.9	1.02	17	.14	56.5	34.9	8.5	23.0	0.86
9	.14	59.9	33.8	12.7	12.0	1.05							

Tabelle 5: Vergleich der Röntgenbefunde mit den Ergebnissen der Lungenfunktionsteste

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
FRC						+											
FRC/TLC	+	+				+											
FEV/VC	+			+												+	+
$MMEF_{.2-1,2}$	+			+								+				+	
$MMEF_{50\%-75\%}$												+				+	
V_D/V_T	+						+	+						+	+		
$AaDO_2$			(+)			(+)	+	(+)	+		(+)				+		
D_L			+					+	+								
Q_{va}/Q_T	+					+	+	+	+								
V_A/Q	+					+	+	+	+		+	+			+		
Röntgen	+	(+)		(+)	(+)			(+)	(+)	+		++		+	(+)		+

Sicher von der Norm abweichende Werte +; fraglich von der Norm abweichende Werte (+)

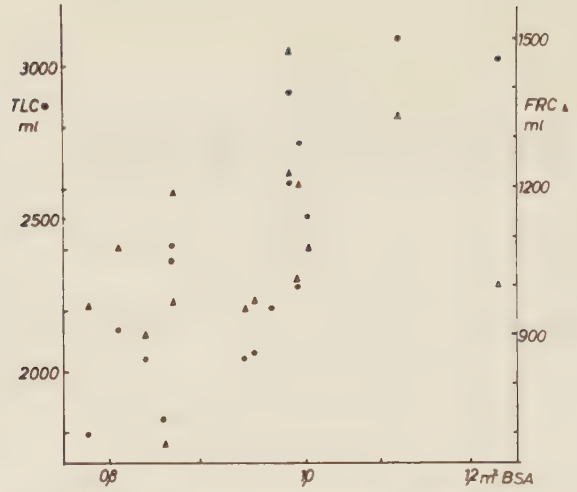

Abb.1: Totale Lungenkapazität (TLC) und funktionelle Residualkapazität (FRC) in Beziehung zur Körperoberfläche (BSA)

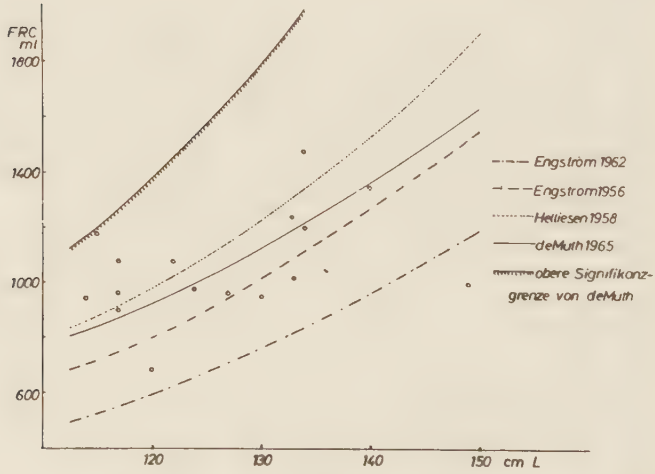

Abb.2: Funktionelle Residualkapazität (FRC) in Beziehung zur Körpergröße (L) mit Vergleichswerten aus der Literatur

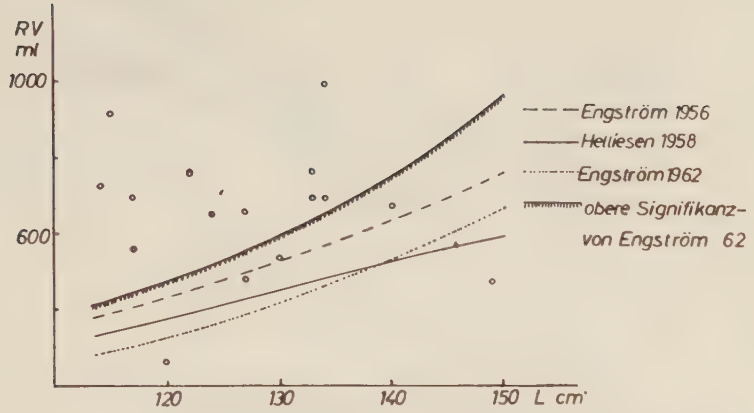

Abb.3: Residualvolumen (RV) in Beziehung zur Körpergröße (L) mit Vergleichswerten aus der Literatur

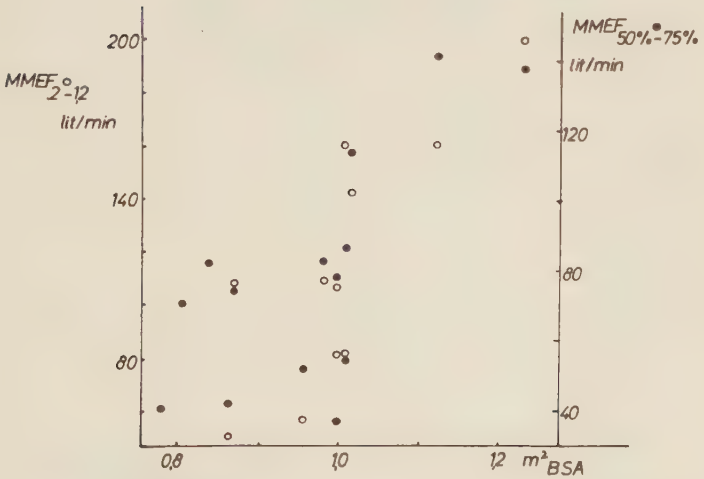

Abb.4: $MMEF_{.2-1,2}$ und $MMEF_{50\%-75\%}$ in Beziehung zur Körperoberfläche (BSA)

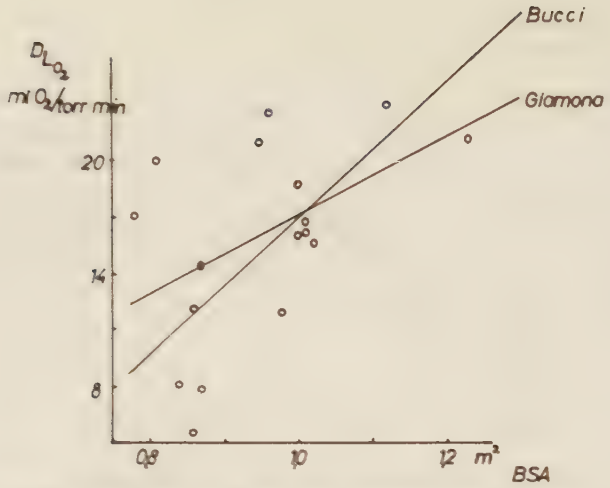

Abb.5: Der O_2-Diffusionsfaktor der Lunge ($D_{L_{O_2}}$) in Beziehung zur Körperoberfläche (BSA)

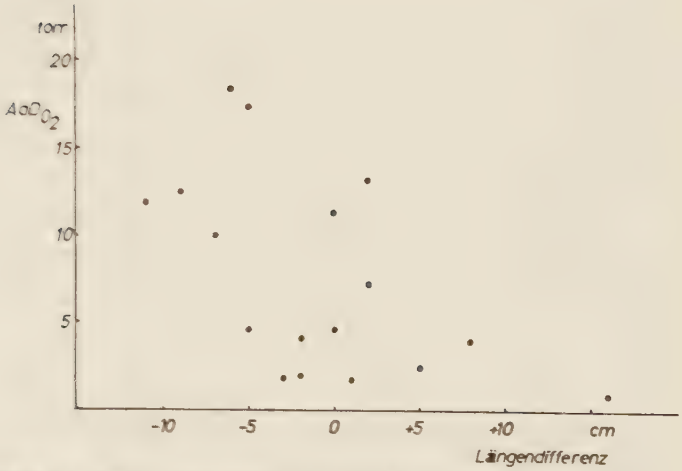

Abb.6: Der alveolo-arterielle Druckgradient (AaD_{O_2}) in Beziehung zur Differenz von Körpergröße und Sollgröße (nach VOGT)

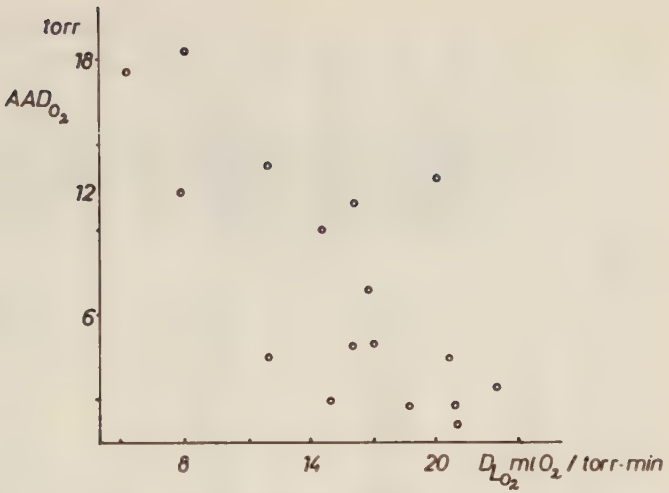

Abb.7: Der alveolo-arterielle Druckgradient (AaD_{O_2}) in Beziehung zum O_2-Diffusionsfaktor der Lunge (DL_{O_2})
Berichtigung zu Abb.7: Statt AAD_{O_2} muß es in der Abbildung AaD_{O_2} heißen.

Voraussageformeln der einzelnen Autoren

Abkürzungen: K=Knaben, M=Mädchen, L=Körpergröße (cm), A=Alter (Jahre), G=Körpergewicht (kg), BSA=Körperoberfläche (m^2)

A Lungenvolumina (im Sitzen bestimmt, auf lit.BTPS berechnet)

	Alter	Kollektiv		Autoren
1.TLC	5-14	K 50 M 43	$4{,}13 \cdot 10^{-6} \cdot L^{2{,}73} \pm 12{,}2\%$	ENGSTRÖM et al. (1956)
	6-15	K 34 M 36	$38{,}1842A+23{,}0973L+44{,}5411G-2236{,}774$ $13{,}0601A+40{,}4346L+14{,}5260G-3495{,}2291$	BERNSTEIN et al. (1959)
	7-15	45	$3{,}18 \cdot 10^{-6} \cdot L^{2{,}769}$	ENGSTRÖM et al. (1962)
2.VC	6-14	93	$2{,}87 \cdot 10^{-6} \cdot L^{2{,}75} \pm 12{,}6\%$	ENGSTRÖM et al. (1956)
	6-15	K 34 M 36	$10{,}6819A+19{,}9646L+30{,}7878G-1599{,}0645$ $13{,}5642A+31{,}7183L+8{,}1419G-2618{,}7931$	BERNSTEIN et al. (1959)
	7-15	45	$2{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot L^{2{,}772}$ -	ENGSTRÖM et al. (1962)
	4-18	147	$2{,}157 \cdot L^{2{,}81}$ für K $1{,}858 \cdot L^{2{,}82}$ für M	DeMUTH et al. (1965)
	5-17	85	$1{,}63 \cdot L^{2{,}87}$	BERNSTEIN et al. (1959)
3.RV	5-17	83	$22 \cdot L^{2{,}04} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{+3}$	HELLIESEN et al. (1958)
	6-14	K 50 M 43	$1{,}38 \cdot 10^{-6} \cdot L^{2{,}64} + 19{,}7\%$	ENGSTRÖM et al. (1956)
	7-15	45	$1{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot L^{3{,}136}$	ENGSTRÖM et al. (1962)

	M	$4{,}781 \cdot L^{-3,9}$	(1965)
5-17	85	$0{,}88 \cdot L^{2,91}$ bzw. $50{,}1 \cdot G^{0,97}$	HELLIESEN et al. (1958)
6-14	K 50 M 43	$0{,}92 \cdot 10^{-6} \cdot L^{2,86}$	ENGSTRÖM et al. (1956)
6-15	K 84 M 36	$10{,}3928A+17{,}886L+19{,}1847G-2053{,}8456$ $8{,}3716A+23{,}3232L+2{,}5563G-2219{,}5869$	BERNSTEIN et al. (1959)
7-15	45	$2{,}11 \cdot 10^{-7} \cdot L^{3,103}$	ENGSTRÖM et al. (1962)

B Dynamische Lungengrößen (in lit./min. angegeben, VC in ml)

1. $MMEF_{.2-1,2}$

6-14	K 624 M 539	$8{,}366A+0{,}064VC-50{,}646$ $8{,}77A+0{,}059VC-49{,}38$	LYONS et al. (1960)

	L=110 cm	L=140 cm	
K	106	122	LYONS et al. (1960)
M	84	125	

2. $MMEF_{50\%-75\%}$

	L=110 cm	L=140 cm	
K	72	105	DeMUTH et al. (1965)
M	79	108	

Fortsetzung der Voraussageformeln

B Ventilation und Diffusion

	Alter	Kollektiv		Autoren
1. $\dot{V}_E/m^2$ (LBTPS)	1/12-16	83	$3{,}793 BSA^{0{,}631}$	BODA et al. (1962)
2. $\dot{V}_A/m^2$ (L/min)	1/12-16	83	$2{,}565 BSA^{0{,}789}$	BODA et al. (1962)
3. $D_{L_{O_2}}$	4-12	20	21BSA	GIAMONA et al. (1965)
		K 69	$0{,}73A-0{,}15L-0{,}087G+25{,}17BSA+7{,}17\pm3{,}37\%$	PECORA et al. (1961)
		M 57	$0{,}39A+0{,}15L-0{,}26G+16{,}68BSA-17{,}66\pm3{,}94\%$	
	7-40		antilog (0,362BSA+0,806)	BUCCI et al. (1961)

Literaturverzeichnis

1. Bartels,H., E.Bücherl, C.W.Hertz, G.Rodewald und M.Schwab: Lungenfunktionsprüfungen. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1959.

2. Bernstein,I.L., R.G.Fragge, M.Gueron, L.Kreindler, J.E.Ghory, and T.D.Sterling: Pulmonary funktion in children 1. Determination of norms. J.Allergy 30: 514-533, 1959.

3. Blair,E. and J.B.Hickam: The effect of change in body position on lung volume and intrapulmonary gasmixing in normal subjects. J.Clin.Invest. 34: 383-389, 1959.

4. Boda,D. and L.Murányi: Ventilation studies in children of different ages. Acta Paediat.(Upps.) 51: 427-432, 1962.

5. Bucci,G., C.D.Cook and H.Barrie: Studies of respiratory physiology in children. V.Total lung diffusion, diffusing capacity of pulmonary membrane and pulmonary capillary blood volume in normal subjects from 7-40 years of age. J.Pediat. 58: 820-828, 1961.

6. Comroe,J.H.: Physiology of Respiration. Chicago, Year Book Medical Publ. 1965.

7. Daymann,H.: The exspiratory spirogramm. Am.Rev.Resp. Dis. 83: 842-855, 1961.

8. Engström,I., P.Karlsberg, and S.Kraepelin: Respiratory studies in children I. Lung volumes in healthy children 6-14 years of age. Acta Paediat.(Upps.) 45: 277-294, 1956.

9. Engström,I., F.E.Escardo, P.Karlsberg, and S.Kraepelin: Respiratory studies in children VI. Timed vital capacity in healthy children and in symptom-free asthmatic children. Acta Paediat.(Upps.) 48: 114-120, 1969.

10. Engström,I., P.Karlsberg, and C.L.Sevarts: Respiratory studies in children IX. Relationship between mechanical properties of the lungs, lung volumes and ventilatory capacity in healthy children 7-14 years of age. Acta Paediat.(Upps.) 51: 68-80, 1962.

11. Engström,I., and P.Karlsberg: Respiratory studies in children X. Serial lung volumes in relation to ventilatory capacity and mechanical properties of the lungs in symptom-free asthmatic children. Acta Paediat.(Upps.) 51: 529, 1962.

12. Feil,G.: Inauguraldissertation. Tübingen 1969.

13. Gandevia,B. and Hugh-Jones,P.: Terminology for measurements of ventilatory capacity. Thorax 12: 290, 1957.

14. Giamona,S.T.J. and W.J.Daly: Pulmonary diffusing capacity in normal children, ages 4 to 13. The effect of body position and exercise on pulmonary diffusing capacity, lung volumes, and ventilatory tests. Am.J.Dis.Child. 110: 144-151, 1965.

15. Helliesen,P.J., C.D.Cook, L.Friedlander, and S. Agathon: Studies of respiratory physiology in children I. Mechanics of respiration and lung volumes in 85 normal children 5 to 17 years of age. Pediatrics 22: 80-93, 1958.

16. Lyons,H.A., R.W.Tanner, and T.Picco: Pulmonary function studies in children. Am.J.Dis.Child. 100: 196-207, 1960.

17. Mellemgaard,K.: The alveolar-arteriel oxygen difference: its size and components in normal man. Acta Physiol.Scand. 67: 10-20, 1966.

18. Mayers,L.B. and R.E.Forster: A rapid method for measuring blood oxygen content utilizing the oxygen electrode. J.Appl.Physiol. 21: 1393-1396, 1966.

19. DeMuth,G.R., W.F.Howatt and B.M.Hill: The growth of lung function. Pediatrics 35, Suppl.No.1: 161-218, 1965.

20. Needham,C.D., M.C.Rogan and J.McDonald: Normal standards for lung volumes, intrapulmonary gas-mixing, and maximum breathing capacity. Thorax 9: 313-325, 1954.

21. Pecora,L.J., I.L.Bernstein and D.P.Feldman: Pulmonary diffusing capacity, membrane diffusing capacity, and capillary blood volume in children with intractable asthma with and without chronic overinflation of the lungs. J.Allergy 37: 204-215, 1966.

22. Rahn,H., and L.E.Farhi: Ventilation, perfusion, and gas exchange - the $\dot{V}_A/\dot{Q}$ concept. In: W.O.Fenn und H.Rahn (Ed.) Section 3: Respiration, Bd.I des Handbook of Physiology: 735-766. Washington, D.C.: Am.Physiol.Soc. 1964.

23. Riegel,K., P.Hilpert und W.Moll: Gasaustausch bei Anämien. IV. Bad Oeynhausener Gespräche 1961: Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer Verlag.

24. Robinson,S.: Experimental studies of physical fitness in relationship to age. Arbeitsphysiologie 10: 251-323, 1939.

25. Rosenthal,T.P.: The effect of temperature on the pH of blood and plasma in vitro. J.Biol. Chem. 173: 25-30, 1948.

26. Sendroy,J. and L.P.Cocchini: J.Appl.Physiol. 7: 1, 1964, zit. nach Bartels et al. 1959, S. 53.

27. Severinghaus,J.W.: In: Blood and other body fluids. Washington,D.C.: Fed.Am.Soc.Exp. Biology 1961, S. 166.

28. Thews,G.: Pflügers Arch.Ges.Physiol. 268: 281, 1959, zit. nach Bartels et al. 1959, S. 346.

29. Turner,J.A., and R.L.McLean: Spirometric measurements of lung function in healthy children. Pediatrics 7: 360-371, 1951.

30. Ulrich,U.: Inauguraldissertation. Tübingen 1969.

31. Vogt,D.: Über den gegenwärtigen Stand der Akzeleration in Bayern. Arch.Kinderheilk. 159: 141-156, 1959.

Lebenslauf

Am 16. Mai 1944 wurde ich, Kurt Hermann Edl. von Figura, als Sohn des Kurt A. Edl. von Figura, Dipl.Ing., und seiner Ehefrau Gertraud, geb. Meuth, in Heiningen geboren. Von 1950 bis 1963 besuchte ich die Volksschule und das Gymnasium in Kirchheim/Teck, wo ich im März 1963 die Reifeprüfung ablegte. Im Sommersemester 1963 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität Tübingen, an der ich im April 1964 das Vorphysikum und im Oktober 1965 das Physikum ablegte. Die ersten beiden klinischen Semester studierte ich in Wien, anschließend studierte ich wieder in Tübingen. Im Februar 1969 legte ich dort das Staatsexamen ab.